


# DRIVING CIRCUIT FOR PHYSICAL QUANTITY DETECTING ELEMENT AND ROTATION ANGLE SENSOR

Patent number: JP2000329513  
Publication date: 2000-11-30  
Inventor: NAKAMURA TSUTOMU; KIKUCHI TETSUO; TARUI ATSUSHI  
Applicant: DENSO CORP;; NIPPON SOKEN INC  
Classification:  
- international: G01B7/30; G01D5/14  
- european:  
Application number: JP19990135699 19990517  
Priority number(s):

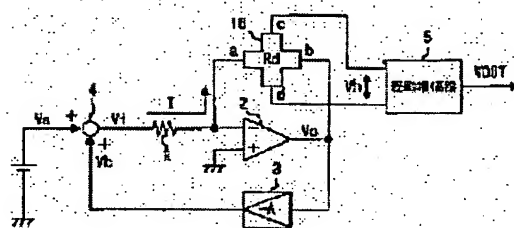
Also published as:

 JP2000329513 (A)

## Abstract of JP2000329513

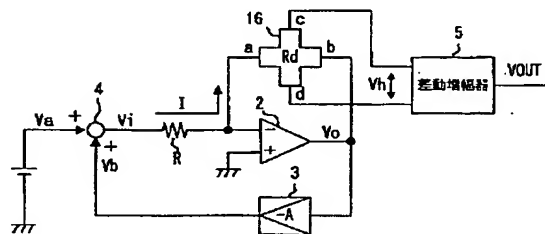
**PROBLEM TO BE SOLVED:** To obtain a driving circuit of a simple constitution for a physical quantity detecting element capable of accurately compensating for variation due to temperature in the detecting sensitivity of the physical quantity detecting element in which its internal resistance value is increased with rise in temperature and detection sensitivity drops.

**SOLUTION:** The drive circuit to supply a drive current  $I$  for the Hall element 16 of a throttle opening sensor is provided with an operational amplifier 2 with an inverting input terminal and output terminal each connected to the drive current terminals (a) and (b) of the device 16 and a non-inverting input terminal connected to the ground potential, a resistance  $R$  with one end connected to the inverting input terminal of the operational amplifier 2, an inverting amplifier 3 to invert and amplify the output voltage  $V_o$  of the operational amplifier 2, and an adder 4 to add a reference voltage  $V_a (>0)$  and the output voltage  $V_b$  of the inverting amplifier 3 together and to impress it on the opposite-side end part of the resistance  $R$  to the side of the operational amplifier 2. In this circuit, when the internal resistance value  $R_d$  of the device 16 is increased with rise in temperature, the drive current  $I$  is increased to compensate for the sensitivity of the device.



Data supplied from the esp@cenet database - Worldwide

(11)特許出願公開番号



## 【特許請求の範囲】

【請求項 1】 一対の駆動電流端子間に駆動電流が供給された状態で、該駆動電流端子とは異なる端子から検出対象の物理量に対応した検出信号を出力すると共に、温度の上昇に伴って前記駆動電流端子間の内部抵抗値が大きくなり且つ前記物理量の検出感度が低下する特性と、前記駆動電流が増加するほど前記物理量の検出感度が大きくなる特性とを有した物理量検出素子に、所定の駆動電流を供給する電流供給手段を備えた物理量検出素子の駆動回路において、  
前記物理量検出素子の前記駆動電流端子間の電圧を、前記電流供給手段によって前記物理量検出素子へ供給される駆動電流に正帰還させる帰還手段を設けたこと、  
を特徴とする物理量検出素子の駆動回路。

【請求項 2】 請求項 1 に記載の物理量検出素子の駆動回路において、  
前記電流供給手段は、

反転入力端子が前記物理量検出素子の一方の駆動電流端子に接続され、出力端子が前記物理量検出素子の他方の駆動電流端子に接続され、非反転入力端子が第 1 の電圧に接続された演算増幅器と、

一端が前記演算増幅器の反転入力端子に接続され、他端に前記第 1 の電圧とは異なる所定電圧が印加される抵抗とからなり、

前記帰還手段は、

前記演算増幅器の出力電圧を、前記第 1 の電圧を基準として反転増幅する反転増幅器と、

前記第 1 の電圧とは異なる第 2 の電圧と前記反転増幅器の出力電圧とを加算した電圧を、前記抵抗の前記演算増幅器側とは反対側の端部に、前記所定電圧として印加する加算器とからなること、

を特徴とする物理量検出素子の駆動回路。

【請求項 3】 請求項 1 に記載の物理量検出素子の駆動回路において、  
前記電流供給手段は、

反転入力端子が前記物理量検出素子の一方の駆動電流端子に接続され、出力端子が前記物理量検出素子の他方の駆動電流端子に接続され、非反転入力端子が第 1 の電圧に接続された演算増幅器と、

一端が前記演算増幅器の反転入力端子に接続され、他端が前記第 1 の電圧とは異なる第 2 の電圧に接続された抵抗とからなり、

前記帰還手段は、

前記演算増幅器の出力電圧を、前記第 1 の電圧を基準として反転増幅する反転増幅器と、

該反転増幅器の出力端子と前記演算増幅器の反転入力端子との間に接続された帰還用抵抗とからなること、

を特徴とする物理量検出素子の駆動回路。

【請求項 4】 請求項 1 ないし請求項 3 の何れかに記載の物理量検出素子の駆動回路において、

前記物理量検出素子は、前記検出信号として、磁界の強さに対応した電圧を出力するホール素子であること、  
を特徴とする物理量検出素子の駆動回路。

【請求項 5】 回転角度を検出すべき検出対象物に取り付けられて、該検出対象物と共に回転する磁石と、  
該磁石により発生される磁界中に配置されて、磁界の強さに対応した電圧を出力するホール素子とを備え、  
前記磁石による磁界方向と前記ホール素子の感磁面との角度変化に伴って変化する前記ホール素子の出力電圧を、前記検出対象物の回転角度を示す信号として外部へ出力する回転角度センサにおいて、  
前記ホール素子に駆動電流を供給するための駆動回路として、請求項 4 に記載の物理量検出素子の駆動回路を備えていること、  
を特徴とする回転角度センサ。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、一対の駆動電流端子間に駆動電流が供給された状態で、検出対象の物理量に対応した検出信号を出力するホール素子等の物理量検出素子に対して、温度によらず検出感度が一定となるように駆動電流を供給する駆動回路と、ホール素子を用いて検出対象物の回転角度を検出する回転角度センサとに関する。

【0002】

【従来の技術】従来より、回転角度を検出すべき検出対象物側に永久磁石を取り付けると共に、その永久磁石によって発生される磁界中にホール素子を置き、そのホール素子を交差する磁束密度の変化から、上記検出対象物の回転角度を非接触で検出する回転角度センサが知られている。そして、この種の回転角度センサの代表的なものとして、例えば車載用内燃機関のスロットル開度（スロットルバルブの開度）を検出するためのスロットル開度センサがある。図 4 に、このようなスロットル開度センサ 10 の構成を示す。

【0003】即ち、このようなスロットル開度センサ 10 においては、スロットルバルブの回転軸に連動して回転するシャフト 12 の中空部の内壁面に、磁束が当該シャフト 12 の中心軸を横切るように対向して 2 つの永久磁石 14 a、14 b が取り付けられており、更に、その永久磁石 14 a、14 b の磁束を検出するようにホール素子 16 が配置されている。尚、ホール素子 16 は、当該スロットル開度センサ 10 内に設けられた回路基板 18 上に実装されている。

【0004】そして、スロットルバルブの回転に伴い、永久磁石 14 a、14 b がホール素子 16 の周りを回ることにより、ホール素子 16 の感磁面に対する永久磁石 14 a、14 b による磁界方向が変化し、その変化した角度  $\theta$  に応じた電気信号、即ちホール電圧  $V_h$  が、式 1 の如くホール素子 16 から出力される。

【0005】

【数1】

$$V_h = B \cdot R_d \cdot I \cdot K_h \cdot \sin \theta \\ = V_A \cdot \sin \theta \quad \dots \text{式1}$$

【0006】ここで、Bは、永久磁石14a、14bによる磁束密度（磁界の強さ）であり、Rdは、ホール素子16の内部抵抗値であり、Iは、ホール素子16の駆動電流であり、Khは、ホール素子16の単位電流（単位駆動電流）及び単位磁束密度当たりの感度定数である。そして、VAは、「 $B \cdot R_d \cdot I \cdot K_h$ 」に対応した定数である。よって、図5に示すように、シャフト12が-90度から+90度まで回転する間に、上記ホール電圧（ホール素子16の出力）Vhは、「-VA」から「+VA」へと正弦波（sin波）上を連続的に変化することとなる。

【0007】そして更に、スロットル開度センサ10では、ホール素子16から上記の如く出力されるホール電圧Vhを、回路基板18上の回路で処理して、スロットル開度（シャフト12の回転角度）を示す信号として端子20から外部へ出力する。一方、ホール素子16から磁界の強さ（磁束密度）に対応したホール電圧Vhを出力させるためには、そのホール素子16に駆動電流を供給する必要があるが、この種のセンサ10に用いられてホール素子16に駆動電流を供給する駆動回路としては、従来より、図6に示すような構成の回路が知られている。

【0008】図6に示すように、従来のホール素子の駆動回路では、まず、演算増幅器22と抵抗R3とによって、ホール素子16の一对の駆動電流端子a、b間に駆動電流Iを流すための定電流制御回路を構成している。即ち、この定電流制御回路においては、演算増幅器22の反転入力端子（-端子）がホール素子16の一方の駆動電流端子bと抵抗R3の一端とに共通接続されており、同演算増幅器22の出力端子がホール素子16の他方の駆動電流端子aに接続されている。また、抵抗R3の他端は接地電位に接続されている。そして、演算増幅器22は、反転入力端子の電圧が非反転入力端子（+端子）に印加されている電圧V+と等しくなるように、自己の出力端子の出力電圧を変化させるため、ホール素子16の駆動電流端子a、b間には、上記電圧V+と抵抗R3とによって決まる電流（ $= V+ / R3$ ）が駆動電流Iとして流れるように、駆動電圧が印加されることとなる。

【0009】そして、ホール素子16に駆動電流Iが供給されることにより、ホール素子16の一对の出力端子c、d間には、磁界の強さに対応したホール電圧Vhが現れる。そこで、この駆動回路では、ホール素子16の出力端子c、d間に発生するホール電圧Vhを、差動増幅器24により増幅して、上記端子20から出力電圧VOUTとして外部へ出力するようにしている。

【0010】ここで特に、従来の駆動回路において、演算増幅器22の非反転入力端子に印加される電圧V+は、所定の電源電圧VCCを2つの抵抗R4、R5で分圧した電圧であり、抵抗R5としては、温度に応じて抵抗値が変化するサーミスタ等の感温抵抗を用いている。よって、演算増幅器22の非反転入力端子に印加される電圧V+は、温度に応じて変化し、その変化に応じて、ホール素子16へ供給される駆動電流Iも変化する事となる。

【0011】つまり、式1からも分かるように、ホール素子16の磁束密度Bに対する感度（ $I \cdot K_h$ ）は駆動電流Iに比例して大きくなり、また、図7（a）に示すように、ホール素子16は、単位駆動電流及び単位磁束密度当たりの感度定数Khに関して負の温度特性（温度の上昇に伴ってKhが低下する特性）を有しているため、駆動電流Iが常に一定であれば、温度上昇に伴い感度が低下して、同じ磁束密度下でもホール電圧Vhが小さくなってしまふ。

【0012】そこで、従来の駆動回路では、上記抵抗R5として、抵抗値が正の温度特性を有する感温抵抗を用い、温度が高いときほど、上記電圧V+が高くなり、それに応じて、ホール素子16への駆動電流Iが大きくなるようにして（即ち、駆動電流Iに正の温度特性を持たせて）、ホール素子16の感度の温度特性を補償し、温度によらず一定の感度（ $I \cdot K_h$ ）が得られるようにしている。また更に、スロットル開度センサ10の場合、永久磁石14a、14bは、磁束密度に関して負の温度特性（温度の上昇に伴って磁束密度が低下する特性）を有しているため、従来の駆動回路では、このような永久磁石14a、14bの温度特性も補償されるように、感温抵抗R5の温度特性や各抵抗R3、R4、R5の抵抗値を決定して、ホール素子16からのホール電圧Vhが温度に影響されないようにして、スロットル開度センサ10の出力信号（出力電圧）VOUTの信頼性を高めている。

【0013】

【発明が解決しようとする課題】しかしながら、上記従来の駆動回路では、感温抵抗R5といった温度検出用素子を別途追加しなければならない上に、このような温度検出用素子とホール素子とは、物理的に異なる位置に配置されるため、ホール素子の温度を的確に捉えた正確な温度補償を行うことができない。つまり、温度検出用素子の温度とホール素子の温度は、常に同じとは限らないためである。

【0014】また、本発明者は、図7（b）に示すように、ホール素子の内部抵抗値（駆動電流端子a、b間の内部抵抗値）Rdが温度により変化することを積極的に利用して、図8に例示する如く、図6の駆動回路に対して、演算増幅器22の非反転入力端子に常に一定の電圧V+を印加する代わりに、ホール素子16に一定の駆動

電流 I を流している状況下での駆動電流端子 a、b 間の電圧を、差動増幅器 26 により抽出し、更に、信号処理回路 28 によって、ホール素子 16 からのホール電圧  $V_h$  に上記差動増幅器 26 の出力を所定の割合で乗算すると共に、その乗算後の電圧を増幅することにより、外部への出力信号 VOUT を生成する構成を考えた。

【0015】つまり、ホール素子 16 に一定の駆動電流 I を流している状況下での駆動電流端子 a、b 間の電圧は、ホール素子 16 の内部抵抗値  $R_d$  に比例した信号となり、その信号はホール素子 16 自身の温度に対応したものと

なるため、その信号をホール電圧  $V_h$  に所定の割合で乗算することにより、出力信号 VOUT を温度に影響されないものとするのである。

【0016】そして、図 8 のような回路構成を採用すれば、ホール素子 16 の温度を的確に捉えた温度補償を行うことが可能となる。しかし、図 8 の構成では、回路が複雑になってしまうという大きな欠点があり、実用的ではない。尚、図 8 は、アナログ的な乗算を行う場合の回路構成を表しているが、外部への出力信号 VOUT を、マイクロコンピュータ等により、上記差動増幅器 26 の出力に応じてデジタル的に補正するように構成しても、回路の複雑化という同様の問題が生じる。

【0017】一方、ホール素子としては、一般に、InSb（インジウム、アンチモン）からなるものと、GaAs（ガリウム、ヒ素）からなるものがあり、図 7（a）に示す如く、両者は共に感度に関しては直線的な負の温度特性を有するが、図 7（b）に示す如く、InSb からなるホール素子は、内部抵抗値  $R_d$  に関して負の温度特性を有し、GaAs からなるホール素子は、内部抵抗値  $R_d$  に関して直線的な正の温度特性を有している。

【0018】このため、InSb からなるホール素子のように、温度の上昇に伴って内部抵抗値が小さくなる物理量検出素子については、駆動電流端子間に一定電圧を印加する簡単な定電圧駆動を行うことにより、温度によらず検出感度をほぼ一定にすることが可能である。つまり、温度が上昇すると、内部抵抗値が小さくなって、自ずと駆動電流が大きくなるためである。

【0019】ところが、GaAs からなるホール素子のように、温度の上昇に伴って内部抵抗値が大きくなる物理量検出素子については、上記のような定電圧駆動では温度補償を行うことができない。本発明は、こうした実情に鑑みてなされたものであり、温度上昇に伴い内部抵抗値が大きくなり且つ検出感度が低下する物理量検出素子の温度による検出感度の変動を、感温抵抗などの温度検出用素子を別途設けることなく簡単な構成で正確に補償することができる物理量検出素子の駆動回路を提供し、更に、その駆動回路を用いることで、温度によらず検出対象物の回転角度を高精度に検出することができる回転角度センサを提供することを目的としている。

#### 【0020】

【課題を解決するための手段、及び発明の効果】上記目的を達成するためになされた請求項 1 に記載の物理量検出素子の駆動回路は、一対の駆動電流端子間に駆動電流が供給された状態で、該駆動電流端子とは異なる端子から検出対象の物理量に対応した検出信号を出力する物理量検出素子に対して、所定の駆動電流を供給する電流供給手段を備えているが、その駆動電流の供給対象である物理量検出素子は、温度の上昇に伴って前記駆動電流端子間の内部抵抗値が大きくなり且つ前記物理量の検出感度が低下する特性と、前記駆動電流が増加するほど前記物理量の検出感度が大きくなる特性とを有している。

【0021】そこで、この駆動回路では、帰還手段を設け、その帰還手段が、物理量検出素子の駆動電流端子間の電圧を、電流供給手段によって物理量検出素子へ供給される駆動電流に正帰還させるようにしている。つまり、電流供給手段によって物理量検出素子に所定の駆動電流が流されている状況下で、温度が上昇すると、物理量検出素子の内部抵抗値（駆動電流端子間の内部抵抗値）が大きくなり、それに伴い、物理量検出素子の駆動電流端子間の電圧（以下、駆動電圧ともいう）が大きくなるため、その駆動電圧の変化は、物理量検出素子の内部抵抗値の変化、延いては物理量検出素子自身の温度変化に対応したものとなる。

【0022】このため、請求項 1 に記載の駆動回路では、物理量検出素子の駆動電流端子間に印加されている駆動電圧を、物理量検出素子への駆動電流に正帰還する（駆動電圧が大きくなるほど駆動電流が大きくなるようにする）ことにより、温度が上昇するほど駆動電流が大きくなるようにして、物理量検出素子の温度上昇に伴う検出感度の低下を補償するようにしている。換言すれば、物理量検出素子の内部抵抗値が温度によって変化することを利用して、その内部抵抗値の変化を駆動電流に正の特性で反映させることにより、駆動電流に正の温度特性を持たせて、物理量検出素子の温度による検出感度の変動を補償するようにしている。

【0023】よって、この請求項 1 に記載の駆動回路によれば、感温抵抗などの温度検出用素子や乗算器等の複雑な補正用回路を設けることなく、物理量検出素子自身の温度を的確に捉えた正確な温度補償を行うことができるようになる。しかも、この駆動回路では、物理量検出素子の温度そのものに応じて温度補償を行うようにしているため、物理量検出素子の自己発熱が問題となるくらい大きな駆動電流を流しても温度補償ができる。よって、物理量検出素子に大きな駆動電流を供給して、検出感度を向上させることができるという優れた効果が得られる。つまり、図 6 に示した従来の駆動回路では、物理量検出素子に相当するホール素子 16 自身の発熱に関しては、温度補償を行うことができないため、ホール素子 16（物理量検出素子）自身が発熱しない程度に駆動電

流を抑えておく必要があったが、請求項1に記載の駆動回路によれば、こうした制約が無くなるのである。

【0024】ところで、請求項1に記載の駆動回路は、具体的には請求項2に記載の如く構成することができる。即ち、請求項2に記載の駆動回路において、電流供給手段は、反転入力端子が物理量検出素子の一方の駆動電流端子に接続され、出力端子が物理量検出素子の他方の駆動電流端子に接続され、非反転入力端子が第1の電圧V1に接続された演算増幅器と、一端が前記演算増幅器の反転入力端子に接続され、他端に第1の電圧V1とは異なる所定電圧Viが印加される抵抗Rとから構成されている。

【0025】そして、帰還手段は、前記演算増幅器の出力電圧Voを、第1の電圧V1を基準として（詳しくは正負の基準として）反転増幅する反転増幅器と、第1の電圧V1とは異なる第2の電圧V2と前記反転増幅器の出力電圧とを加算した電圧を、前記抵抗Rの演算増幅器側とは反対側の端部に、前記所定電圧Viとして印加する加算器とから構成されている。尚、反転増幅器は、その増幅率を-A（但しAは正の数）とすると、「 $-A \cdot (V_o - V_1) + V_1$ 」といった電圧を出力するものである。

【0026】このような請求項2に記載の駆動回路において、電流供給手段を構成する演算増幅器は、反転入力端子の電圧（即ち、物理量検出素子の上記一方の駆動電流端子の電圧）が、非反転入力端子に印加されている第1の電圧V1と等しくなるように、自己の出力端子から物理量検出素子の上記他方の駆動電流端子に印加する出力電圧Voを変化させる。このため、物理量検出素子の駆動電流端子間には、抵抗Rに流れる電流であって、上記所定電圧Viと第1の電圧V1との電位差を抵抗Rの抵抗値で割った値の目標電流（ $= |V_i - V_1| / R$ ）が駆動電流Iとして流れるように、「 $|V_o - V_1|$ 」なる駆動電圧が印加されることとなる。

【0027】そして、この場合、物理量検出素子の両駆動電流端子のうちで、演算増幅器の反転入力端子に接続された方の駆動電流端子の電圧は、第1の電圧V1に保たれ、他方の駆動電流端子の電圧であって演算増幅器の出力電圧Voが、物理量検出素子への駆動電流Iが上記目標電流（ $= |V_i - V_1| / R$ ）となるように制御されるため、演算増幅器の出力電圧Voは、物理量検出素子の内部抵抗値の変化、延いては物理量検出素子自身の温度変化に応じて変化することとなる。

【0028】そこで、請求項2に記載の駆動回路では、演算増幅器の出力電圧Voを、物理量検出素子の駆動電圧として扱い、その演算増幅器の出力電圧Voを反転増幅器により第1の電圧V1を基準として反転増幅すると共に、その反転増幅器の出力電圧と第2の電圧V2とを加算した電圧を、加算器により抵抗Rの演算増幅器側とは反対側の端部に前記所定電圧Viとして印加すること

により、物理量検出素子の駆動電流端子間に印加されている駆動電圧を、電流供給手段によって物理量検出素子へ供給される駆動電流に正帰還させるようにしている。

【0029】この正帰還のメカニズムは、下記の（1-1）～（1-3）の通りである。（1-1）まず、温度が上昇すると、物理量検出素子の内部抵抗値が大きくなり、それに伴い、第1の電圧V1と演算増幅器の出力電圧Voとの差（即ち、物理量検出素子の駆動電圧）が大きくなる。

10 【0030】（1-2）そして、演算増幅器の出力電圧Voは、第1の電圧V1を基準として反転増幅され、更に第2の電圧V2と加算されて、抵抗Rの演算増幅器側とは反対側の端部に所定電圧Viとして印加されるため、温度上昇に伴い、第1の電圧V1と演算増幅器の出力電圧Voとの差が大きくなると、抵抗Rに印加される上記所定電圧Viは、第1の電圧V1を基準にして見ると、演算増幅器の出力電圧Voとは反対の極性方向へ大きくなる。つまり、温度上昇に伴い、第1の電圧V1と演算増幅器の出力電圧Voとの差が大きくなると、抵抗Rに印加される所定電圧Viと第1の電圧V1との差も大きくなる。

30 【0031】（1-3）この結果、演算増幅器及び抵抗Rからなる電流供給手段の上記目標電流（ $= |V_i - V_1| / R$ ）が大きくなって、その電流供給手段により物理量検出素子に供給される駆動電流Iが大きくなるのである。そして、この請求項2に記載の駆動回路によれば、抵抗Rの抵抗値と反転増幅器の増幅率（-A）とを、物理量検出素子の検出感度の温度係数や内部抵抗値の温度係数に応じて設定することにより、温度による物理量検出素子の内部抵抗値の変化、即ち物理量検出素子自身の温度変化を駆動電流Iに適切に反映させて、物理量検出素子の温度による検出感度の変動を正確に補償することができる。

40 【0032】一方、請求項1に記載の駆動回路は、請求項3に記載の如く構成することもできる。即ち、請求項3に記載の駆動回路において、電流供給手段は、反転入力端子が物理量検出素子の一方の駆動電流端子に接続され、出力端子が物理量検出素子の他方の駆動電流端子に接続され、非反転入力端子が第1の電圧V1に接続された演算増幅器と、一端が前記演算増幅器の反転入力端子に接続され、他端が第1の電圧V1とは異なる第2の電圧V2に接続された抵抗Rとから構成されている。

50 【0033】そして、帰還手段は、前記演算増幅器の出力電圧Voを、第1の電圧V1を基準として（詳しくは正負の基準として）反転増幅する反転増幅器と、その反転増幅器の出力端子と前記演算増幅器の反転入力端子との間に接続された帰還用抵抗R2とから構成されている。尚、前述した請求項2の駆動回路と同様に、反転増幅器は、その増幅率を-A（但しAは正の数）とすると、「 $-A \cdot (V_o - V_1) + V_1$ 」といった電圧を出



力するものである。

【0034】この請求項3に記載の駆動回路においても、請求項2に記載の駆動回路と同様に、電流供給手段を構成する演算増幅器は、反転入力端子の電圧（即ち、物理量検出素子の上記一方の駆動電流端子の電圧）が、非反転入力端子に印加されている第1の電圧 $V_1$ と等しくなるように、自己の出力端子から物理量検出素子の上記他方の駆動電流端子に印加する出力電圧 $V_o$ を変化させる。

【0035】このため、反転増幅器及び帰還用抵抗 $R_2$ からなる帰還手段が無いと仮定すると、物理量検出素子の駆動電流端子間には、抵抗 $R$ に流れる電流であって、第1の電圧 $V_1$ と第2の電圧 $V_2$ との電位差を抵抗 $R$ の抵抗値で割った値の電流（ $= |V_1 - V_2| / R$ ）が駆動電流 $I$ として流れるように、「 $|V_o - V_1|$ 」なる駆動電圧が印加されることとなる。そして、物理量検出素子の両駆動電流端子のうちで、演算増幅器の反転入力端子に接続された方の駆動電流端子の電圧は、第1の電圧 $V_1$ に保たれ、他方の駆動電流端子の電圧であって演算増幅器の出力電圧 $V_o$ が、物理量検出素子への駆動電流 $I$ が上記電流（ $= |V_1 - V_2| / R$ ）となるように制御されるため、演算増幅器の出力電圧 $V_o$ は、物理量検出素子の内部抵抗値の変化、延いては物理量検出素子自身の温度変化に応じて変化することとなる。

【0036】そこで、請求項3に記載の駆動回路においても、演算増幅器の出力電圧 $V_o$ を、物理量検出素子の駆動電圧として扱い、その演算増幅器の出力電圧 $V_o$ を反転増幅器により第1の電圧 $V_1$ を基準として反転増幅すると共に、その反転増幅器の出力端子と前記演算増幅器の反転入力端子とを、帰還用抵抗 $R_2$ を介して接続することにより、物理量検出素子の駆動電流端子間に印加されている駆動電圧を、電流供給手段によって物理量検出素子へ供給される駆動電流に正帰還させるようにしている。

【0037】この正帰還のメカニズムは、下記の（2-1）～（2-3）の通りである。

（2-1）まず、温度が上昇すると、物理量検出素子の内部抵抗値が大きくなり、それに伴い、演算増幅器の出力電圧 $V_o$ が変化して、第1の電圧 $V_1$ と上記出力電圧 $V_o$ との差（即ち、物理量検出素子の駆動電圧）が大きくなる。

【0038】（2-2）そして、反転増幅器は、演算増幅器の出力電圧 $V_o$ を、第1の電圧 $V_1$ を基準として反転増幅し出力するため、温度上昇に伴い、第1の電圧 $V_1$ と演算増幅器の出力電圧 $V_o$ との差が大きくなると、反転増幅器の出力電圧は、第1の電圧 $V_1$ を基準にして見ると、演算増幅器の出力電圧 $V_o$ とは反対の極性方向へ大きくなる。

【0039】（2-3）すると、演算増幅器の反転入力端子の電圧が、帰還用抵抗 $R_2$ によって、第1の電圧 $V_1$

1から演算増幅器の出力電圧 $V_o$ とは反対の極性方向へ変化しようとするため、それを防ごうと、演算増幅器の出力電圧 $V_o$ が更に変化し、この結果、演算増幅器からなる電流供給手段によって物理量検出素子に供給される駆動電流 $I$ が大きくなるのである。

【0040】そして、この請求項3に記載の駆動回路によれば、帰還用抵抗 $R_2$ の抵抗値と反転増幅器の増幅率（ $-A$ ）とを、物理量検出素子の検出感度の温度係数や内部抵抗値の温度係数に応じて設定することにより、温度による物理量検出素子の内部抵抗値の変化、即ち物理量検出素子自身の温度変化を駆動電流 $I$ に適切に反映させて、物理量検出素子の温度による検出感度の変動を正確に補償することができる。

【0041】ところで、前述した請求項1～3の駆動回路において、駆動電流の供給対象である物理量検出素子を、請求項4に記載の如く、磁界の強さに対応した電圧（ホール電圧）を検出信号として出力するホール素子とすれば、内部抵抗値に関して直線的な正の温度特性を有するGaAsのホール素子（図7（b）参照）であっても、そのホール素子自体の温度を的確に捉えた正確な温度補償を簡単な構成で行うことができるようになる。

【0042】次に、請求項5に記載の本発明の回転角度センサは、回転角度を検出すべき検出対象物に取り付けられて、その検出対象物と共に回転する磁石と、該磁石により発生される磁界中に配置されて、磁界の強さに対応した電圧を出力するホール素子とを備えており、前記磁石による磁界方向と前記ホール素子の感磁面との角度変化に伴って変化する前記ホール素子の出力電圧（ホール電圧）を、前記検出対象物の回転角度を示す信号として外部へ出力するが、特に、ホール素子に駆動電流を供給するための駆動回路として、請求項4に記載の物理量検出素子の駆動回路を備えている。

【0043】よって、この請求項5に記載の回転角度センサによれば、駆動回路にて、ホール素子の駆動電圧を駆動電流に正帰還させるループゲインを決定する回路定数（具体的には、請求項2の駆動回路では、抵抗 $R$ の抵抗値と反転増幅器の増幅率であり、請求項3の駆動回路では、帰還用抵抗 $R_2$ の抵抗値と反転増幅器の増幅率である）を、ホール素子の感度の温度係数及び内部抵抗値の温度係数だけでなく、磁石の磁束密度の温度係数も加味して設定することにより、当該センサから外部への信号を温度に影響されないものとすることができ、温度によらず検出対象物の回転角度を高精度に検出可能なセンサとなる。そして特に、こうした温度補償を、簡単な回路構成で行うことができるため、当該回転角度センサの小型化及び低コスト化を達成することができる。

【0044】

【発明の実施の形態】以下、本発明の実施形態について、図面を用いて説明する。まず図1は、第1実施形態のホール素子の駆動回路の構成を示す回路図である。

尚、本実施形態の駆動回路は、図4に示したスロットル開度センサ10内の回路基板18に設けられ、同回路基板18上のホール素子16に対して駆動電流を供給すると共に、そのホール素子16から前述した式1の如く出力されるホール電圧 $V_h$ を増幅して、スロットル開度（検出対象物に相当するシャフト12の回転角度）を示す出力信号 $VO_{UT}$ として当該センサ10の端子20から外部へ出力するものである。また、ホール素子16は、GaAsからなるものであり、図7に示したように、温度の上昇に伴って内部抵抗値 $R_d$ が直線的に大きくなり且つ感度が直線的に小さくなる特性を有しており、更に、式1からも分かるように、駆動電流 $I$ の増加に比例して感度が大きくなる特性を有している。

【0045】図1に示すように、本第1実施形態の駆動回路は、ホール素子16の駆動電流端子a、b間に駆動電流 $I$ を供給する電流供給手段として、反転入力端子がホール素子16の一方の駆動電流端子aに接続され、出力端子がホール素子16の他方の駆動電流端子bに接続され、非反転入力端子が接地電位（0Vであり、請求項2の第1の電圧に相当）に接続された演算増幅器2と、一端が演算増幅器2の反転入力端子に接続された抵抗 $R$ とを備えている。

【0046】そして更に、この駆動回路は、ホール素子16の駆動電流端子a、b間の電圧（駆動電圧）を駆動電流 $I$ に正帰還させる帰還手段として、演算増幅器2の出力電圧 $V_o$ を、接地電位を基準として反転増幅する反転増幅器3と、接地電位よりも高い基準電圧 $V_a$ （請求項2の第2の電圧に相当）と反転増幅器3の出力電圧 $V_b$ とを加算して、その加算後の電圧 $V_i (=V_a + V_b)$ を上記抵抗 $R$ の演算増幅器2側とは反対側の端部に印加する加算器4とを備えている。尚、反転増幅器3は、その増幅率を $-A$ （但し $A$ は正の数）とすると、「 $-A \cdot V_o$ 」といった電圧を出力する。

【0047】また、本第1実施形態の駆動回路は、ホール素子16の出力端子c、d間に発生するホール電圧 $V_h$ を増幅し、その増幅後の電圧信号を、上記端子20から外部へ、スロットル開度センサ10の出力信号 $VO_{UT}$ として出力する差動増幅器5を備えている。

【0048】このように構成された本第1実施形態の駆動回路において、演算増幅器2は、反転入力端子の電圧（即ち、ホール素子16の駆動電流端子aの電圧）が、非反転入力端子に印加されている接地電位（0V）と等しくなるように、自己の出力端子からホール素子16の駆動電流端子bに印加する出力電圧 $V_o$ を変化させる。このため、ホール素子16の駆動電流端子a、b間には、抵抗 $R$ に流れる電流であって、加算器4の出力電圧 $V_i$ を抵抗 $R$ の抵抗値で割った値の目標電流（ $=V_i / R$ ）が駆動電流 $I$ として流れるように、「 $|V_o - 0|$ 」なる駆動電圧が印加されることとなる。

【0049】そして、この場合、ホール素子16の両駆

動電流端子a、bのうちで、演算増幅器2の反転入力端子に接続された方の駆動電流端子aの電圧は、接地電位に保たれ、他方の駆動電流端子bの電圧であって演算増幅器2の出力電圧 $V_o$ が、ホール素子16への駆動電流 $I$ が上記目標電流（ $=V_i / R$ ）となるように制御されるため、演算増幅器2の出力電圧 $V_o$ は、ホール素子16の駆動電圧そのものであると共に、ホール素子16の内部抵抗値（駆動電流端子a、b間の内部抵抗値） $R_d$ の変化、延いてはホール素子16自身の温度変化に応じて変化する事となる。

【0050】そこで、本第1実施形態の駆動回路では、演算増幅器2の出力電圧 $V_o$ を反転増幅器3により接地電位を基準として反転増幅すると共に、その反転増幅器3の出力電圧 $V_b (= -A \cdot V_o)$ と基準電圧 $V_a$ とを加算した電圧 $V_i$ を、加算器4により抵抗 $R$ の演算増幅器2側とは反対側の端部に印加することにより、ホール素子16の駆動電流端子a、b間に印加されている駆動電圧を駆動電流 $I$ に正帰還させるようにしている。

【0051】つまり、演算増幅器2と抵抗 $R$ は、ホール素子16と共に、そのホール素子16へ「 $V_i / R$ 」なる駆動電流 $I$ を流す反転増幅器を成しているため、演算増幅器2の出力電圧 $V_o$ を極性反転させて抵抗 $R$ の入力電圧 $V_i$ に加えれば、駆動電流 $I$ に着目すると、回路全体のループは正帰還となるのである。

【0052】より具体的に説明すると、まず、温度が上昇すると、ホール素子16の内部抵抗値 $R_d$ が大きくなり、それに伴い、演算増幅器の出力電圧 $V_o$ が負方向（負電圧の方向）に大きくなる。そして、演算増幅器2の出力電圧 $V_o$ は、接地電位を基準にして反転増幅されて基準電圧 $V_a$ と加算され、その加算後の電圧 $V_i (=V_a - A \cdot V_o)$ が、抵抗 $R$ の演算増幅器2側とは反対側の端部に印加されるため、温度上昇に伴い、演算増幅器の出力電圧 $V_o$ が負方向に大きくなると、抵抗 $R$ に印加される上記電圧（入力電圧） $V_i$ は、演算増幅器の出力電圧 $V_o$ とは反対の正方向（正電圧の方向）へ大きくなる。つまり、温度上昇に伴い、演算増幅器の出力電圧 $V_o$ が負方向に大きくなると、抵抗 $R$ に印加される電圧 $V_i$ が正方向に大きくなる。

【0053】この結果、演算増幅器2及び抵抗 $R$ からなる電流供給手段の上記目標電流（ $=V_i / R$ ）が大きくなって、ホール素子16に供給される駆動電流 $I$ が大きくなるのである。そして、この第1実施形態の駆動回路によれば、抵抗 $R$ の抵抗値と反転増幅器3の増幅率 $-A$ とを、ホール素子16の感度定数 $K_h$ の温度係数や内部抵抗値 $R_d$ の温度係数に応じて設定することにより、温度によるホール素子16の内部抵抗値 $R_d$ の変化、即ちホール素子16自身の温度変化を駆動電流 $I$ に適切に反映させて、ホール素子16の温度による感度の変動を正確に補償することができる。そして更に、抵抗 $R$ の抵抗値と反転増幅器3の増幅率 $-A$ を、永久磁石14a、1



4bの磁束密度の温度係数も加味して設定することにより、スロットル開度センサ10の出力信号VOUTを温度に影響されないものとし、温度によらずスロットル開度を高精度に検出可能なセンサを得ることができる。

【0054】そこで次に、本第1実施形態の駆動回路において、抵抗Rの抵抗値や反転増幅器3の増幅率等の回路定数を、どの様に設定するかについて具体的に説明する。尚、以下に説明する各式において、「R」は、抵抗Rの抵抗値を示している。まず、この駆動回路では、式2が成立する。

【0055】

【数2】

$$\left. \begin{array}{l} V_i = V_a + V_b \\ V_o = -(R_d/R) \cdot V_i \\ V_b = -A \cdot V_o \end{array} \right\} \cdots \text{式2}$$

【0056】そして、式2を整理すると、ホール素子16に流れる駆動電流I(=V<sub>i</sub>/R)は、式3のようになる。

【0057】

【数3】

$$I = \frac{V_i}{R} = \frac{1}{R \left( 1 - \frac{R_d}{R} A \right)} V_a \cdots \text{式3}$$

【0058】ここで、式3の分母における「(R<sub>d</sub>/R)・A」は、当該駆動回路のループゲインであり、このループゲインが1未満であれば、当該駆動回路は発散せず安定である。そして、式3からも分かるように、ホール素子16の内部抵抗値R<sub>d</sub>が温度の上昇に伴って大きくなると、ホール素子16の駆動電流Iは増加する。また、ホール素子16の感度は駆動電流Iに比例する。よって、上記ループゲイン「(R<sub>d</sub>/R)・A」を適切に設定すれば、感度の温度補償ができる。

【0059】次に、温度補償のためのより詳しい条件について説明する。まず、GaAsからなるホール素子1\*

$$V_{h0} = V_a \cdot K_{h0} \frac{(1 - K_t \cdot t)}{(R - R_d \cdot A) - R_d \cdot K_r \cdot t \cdot A} \cdots \text{式6}$$

【0066】この式6における分数の部分が温度tによらず一定となれば、V<sub>h0</sub>、即ちホール素子16の感度は、温度によらず一定となる。そして、これを満たすための条件(温度補償の条件)は、「1対K<sub>t</sub>=(R-R<sub>d</sub>・A)対(R<sub>d</sub>・K<sub>r</sub>・A)」であり、これを整理すると、式7のようになる。

【0067】

【数7】

$$K_t = \frac{R_d \cdot K_r \cdot A}{R - R_d \cdot A} \cdots \text{式7}$$

\*6の内部抵抗値R<sub>d</sub>は、正の温度特性を有しているため、式3における「R<sub>d</sub>」は、「R<sub>d</sub>(1+K<sub>r</sub>・t)」に置き換えることができ、この置換により、式3は、式4のように変形することができる。尚、K<sub>r</sub>は、ホール素子16の内部抵抗値の温度係数であり、tは、温度である。そして、上記「R<sub>d</sub>(1+K<sub>r</sub>・t)」及び式4における「R<sub>d</sub>」は、ある基準温度でのホール素子16の内部抵抗値である。また、このことは、後述する式6～式8においても同様である。

【0060】

【数4】

$$\begin{aligned} I &= \frac{1}{R \left( 1 - \frac{R_d (1 + K_r \cdot t)}{R} A \right)} V_a \\ &= \frac{V_a}{R - R_d (1 + K_r \cdot t) A} \\ &= \frac{V_a}{(R - R_d \cdot A) - R_d \cdot K_r \cdot t \cdot A} \cdots \text{式4} \end{aligned}$$

20 【0061】また、ある磁束密度下でのホール素子16の出力電圧(ホール電圧)V<sub>h0</sub>は、ホール素子16の感度と見なすことができ、その出力電圧V<sub>h0</sub>は、式5のように表すことができる。

【0062】

【数5】

$$V_{h0} = I \cdot K_{h0} \cdot (1 - K_t \cdot t) \cdots \text{式5}$$

30 【0063】ここで、K<sub>h0</sub>は、ある磁束密度及びある温度でのホール素子16の単位駆動電流当たりの感度であり、K<sub>t</sub>は、感度の温度係数である。尚、ホール素子16は、温度によって感度が低下するため、「K<sub>t</sub>>0」である。つまり、式5では、K<sub>t</sub>を、正の値として扱っている。

【0064】そして、式5に式4を代入すると、式6のようになる。

【0065】

【数6】

【0068】また、式7を変形すると式8が得られる。

【0069】

【数8】

$$\frac{K_t}{K_t + K_r} = \frac{R_d \cdot A}{R} < 1 \cdots \text{式8}$$

50 【0070】よって、式7及び式8を満足するように、抵抗Rの抵抗値と反転増幅器3の増幅率-Aとを設定すれば、ホール素子16の感度を温度によらず一定にすることができる。例えば、ホール素子16の内部抵抗値の温度係数K<sub>r</sub>が+2300ppm/℃であり、感度の温

度係数  $K_t$  の絶対値が  $550 \text{ ppm}/^\circ\text{C}$  であるとする  
と、式 8 において、「 $K_t / (K_t + K_r)$ 」が 0.19  
となるため、「 $(R_d \cdot A) / R$ 」が 0.19 となる  
ように、抵抗  $R$  の抵抗値と反転増幅器 3 の増幅率  $-A$  を  
設定すれば良い。

【0071】そして更に、スロットル開度センサ 10 に  
使用する永久磁石 14a, 14b の温度特性をも含めて  
補償する場合には、永久磁石 14a, 14b の磁束密度  
の温度係数の絶対値を、式 7, 8 における  $K_t$  に加算し  
て、回路定数を設定すれば良い。具体的に説明すると、  
永久磁石 14a, 14b の材質が、サマリウムコバルト  
系であれば、その磁束密度の温度係数は、 $-300 \text{ ppm}/^\circ\text{C}$   
程度である。そして、この例の場合、 $K_t = 550 + 300 = 850 \text{ ppm}/^\circ\text{C}$  となり、式 8 における  
「 $K_t / (K_t + K_r)$ 」が 0.27 となるため、  
「 $(R_d \cdot A) / R$ 」が 0.27 となるように、抵抗  $R$   
の抵抗値と反転増幅器 3 の増幅率  $-A$  を設定すれば、ス  
ロットル開度センサ 10 の出力信号  $V_{OUT}$  を、温度に  
影響されないものとすることができる。

【0072】以上のように本第 1 実施形態の駆動回路で  
は、ホール素子 16 の内部抵抗値が温度によって変化す  
ることを利用し、その内部抵抗値の変化を駆動電流に正  
の特性で反映させることにより、駆動電流に正の温度特  
性を持たせて、ホール素子 16 の温度による検出感度の  
変動を補償するようにしている。

【0073】よって、本第 1 実施形態の駆動回路によれ  
ば、感温抵抗などの温度検出用素子や乗算器等の複雑な  
補正用回路を設けることなく、ホール素子 16 自身の温  
度を的確に捉えた正確な温度補償を行うことができる。  
しかも、この駆動回路では、ホール素子 16 の温度その  
ものに依りて温度補償を行うようにしているため、ホー  
ル素子 16 の自己発熱が問題となるくらい大きな駆動  
電流を流しても温度補償ができ、ホール素子 16 に大き  
な駆動電流を供給して、検出感度を向上させることが  
できるという優れた効果が得られる。

【0074】そして更に、本第 1 実施形態の駆動回路を  
備えたスロットル開度センサ 10 によれば、抵抗  $R$  の抵  
抗値と反転増幅器 3 の増幅率  $-A$  を、上記具体例の如く  
永久磁石 14a, 14b の磁束密度の温度係数も加味し  
て設定することにより、当該センサ 10 から外部への出  
力信号  $V_{OUT}$  を温度に全く影響されないものとするこ  
とができ、温度によらずスロットル開度を高精度に検出  
可能なセンサとなる。そして、こうした温度補償を、簡  
単な回路構成で行うことができるため、当該スロットル  
開度センサ 10 の小型化及び低コスト化を達成すること  
ができる。

【0075】次に、図 2 は、第 2 実施形態のホール素子  
の駆動回路の構成を示す回路図である。尚、この駆動回  
路も、図 4 に示したスロットル開度センサ 10 内の回路  
基板 18 に設けられて、前述した第 1 実施形態の駆動回

路(図 1)と同じ機能を果たすものである。そして、ホ  
ール素子 16 も、第 1 実施形態の場合と同じ  $G_aAs$  か  
らなるものである。また、本第 2 実施形態の駆動回路に  
おいて、図 1 と同じ構成要素については、同一の符号を  
付している。図 2 に示すように、本第 2 実施形態の駆動  
回路は、第 1 実施形態の駆動回路に対して、以下の  
(1) ~ (4) の点が異なっている。

【0076】(1) 演算増幅器 2 の非反転入力端子が、  
接地電位 (0V) ではなく、それよりも電位が高い基準  
電圧  $V_a$  (請求項 3 の第 1 の電圧に相当) に接続されて  
いる。また、前述した第 1 実施形態の駆動回路では、ホ  
ール素子 16 の駆動電流  $I$  が抵抗  $R$  側から演算増幅器 2  
の出力端子側へ流れたが(図 1 参照)、本第 2 実施形態  
の駆動回路では、演算増幅器 2 の出力端子側から抵抗  $R$   
側へ駆動電流  $I$  が流れるため、図 2 では、演算増幅器 2  
の出力端子がホール素子 16 の駆動電流端子  $a$  に接続さ  
れ、反転入力端子がホール素子 16 の駆動電流端子  $b$  に  
接続されている。つまり、駆動電流端子  $a$ ,  $b$  の接続方  
向が逆になっている。

【0077】(2) 加算器 4 が設けられておらず、抵抗  
 $R$  の両端部のうち、演算増幅器 2 の反転入力端子とは反  
対側の端部が、接地電位 (請求項 3 の第 2 の電圧に相  
当) に接続されている。

(3) 反転増幅器 3 は、演算増幅器 2 の出力電圧  $V_o$   
を、請求項 3 の第 1 の電圧に相当する基準電圧  $V_a$  を基  
準として (詳しくは正負の基準として) 反転増幅し出力  
する。即ち、反転増幅器 3 は、その増幅率を  $-A$  (但し  
 $A$  は正の数) とすると、「 $-A \cdot (V_o - V_a) + V_a$ 」とい  
った電圧を出力する。

【0078】そして、反転増幅器 3 は、詳しくは、非反  
転入力端子が演算増幅器 2 の非反転入力端子 (即ち基準  
電圧  $V_a$ ) に接続された演算増幅器 3a と、その演算増  
幅器 3a の反転入力端子と演算増幅器 2 の出力端子との  
間に接続された抵抗  $R_a$  と、上記演算増幅器 3a の反  
転入力端子と出力端子との間に接続された抵抗  $R_b$  とから  
構成されている。尚、この反転増幅器 3 の構成は、第 1  
実施形態の駆動回路においても同様である。つまり、第  
1 実施形態の駆動回路では、演算増幅器 2 及び演算増幅  
器 3a の両非反転入力端子が、接地電位に接続されてい  
る。

【0079】(4) 反転増幅器 3 の出力端子としての上  
記演算増幅器 3a の出力端子と、演算増幅器 2 の反転入  
力端子との間に、帰還用抵抗  $R_2$  が接続されている。そ  
して、本第 2 実施形態の駆動回路では、この帰還用抵抗  
 $R_2$  と反転増幅器 3 とが、ホール素子 16 の駆動電流端  
子  $a$ ,  $b$  間の電圧 (駆動電圧) を駆動電流  $I$  に正帰還さ  
せる帰還手段として機能する。

【0080】また、本第 2 実施形態の駆動回路も、第 1  
実施形態の駆動回路と同様に、ホール素子 16 の出力端  
子  $c$ ,  $d$  間に発生するホール電圧  $V_h$  を増幅して、スロ

ットル開度センサ10の出力信号VOUTとして出力する差動増幅器5を備えている。

【0081】一方、説明の視点を変えると、本第2実施形態の駆動回路は、図1に示した第1実施形態の駆動回路を、図3(a)～(c)のように変形したものと言える。但し、図3では、外部への出力信号VOUTを出力するための差動増幅器5は、図示を省略している。

【0082】①まず、図3(a)に示すように、図1の駆動回路に対して、加算器4を削除し、その代わりに、反転増幅器3の出力端子と演算増幅器2の反転入力端子との間に帰還用抵抗R2を接続する。

②次に、図3(b)に示すように、接地電位と基準電圧Vaとを入れ替える。尚、これにより、図3(a)に対して、駆動電流Iの向きが反対になるため、ホール素子16の駆動電流端子a、bの接続方向を逆にしている。

【0083】③最後に、図3(c)の点線内に示すように、反転増幅器3を、演算増幅器3aと2つの抵抗Ra、Rbとで示せば、図2の駆動回路となる。尚、本第2実施形態において、第2の電圧を接地電位とし、その接地電位に抵抗Rの演算増幅器2側とは反対側の端部を接続しているのは、演算増幅器2、3aを正の単電源で動作させるためである。

【0084】以上のように構成された本第2実施形態の駆動回路においても、第1実施形態の駆動回路と同様に、電流供給手段を構成する演算増幅器2は、反転入力端子の電圧(ホール素子16の駆動電流端子bの電圧)が、非反転入力端子に印加されている基準電圧Vaと等しくなるように、自己の出力端子からホール素子16の駆動電流端子aに印加する出力電圧Voを変化させる。

【0085】このため、反転増幅器3及び帰還用抵抗R2からなる帰還手段が無いと仮定すると、ホール素子16の駆動電流端子a、b間には、抵抗Rに流れる電流であって、基準電圧Vaと接地電位との電位差(即ち基準電圧Va)を抵抗Rの抵抗値で割った値の電流(=Va/R)が駆動電流Iとして流れるように、「|Vo-Va|」なる駆動電圧が印加されることとなる。そして、ホール素子16の両駆動電流端子a、bのうちで、演算増幅器2の反転入力端子に接続された方の駆動電流端子bの電圧は、基準電圧Vaに保たれ、他方の駆動電流端子aの電圧であって演算増幅器2の出力電圧Voが、ホール素子16への駆動電流Iが上記電流(=Va/R)となるように制御されるため、演算増幅器2の出力電圧Voは、ホール素子16の内部抵抗値Rdの変化、延いてはホール素子16自身の温度変化に応じて変化することとなる。

【0086】そこで、本第2実施形態の駆動回路においても、演算増幅器2の出力電圧Voを、ホール素子16の駆動電圧として扱い、その演算増幅器の出力電圧Voを反転増幅器3により基準電圧Vaを基準として反転増幅すると共に、その反転増幅器3の出力端子と演算増幅

器2の反転入力端子とを、帰還用抵抗R2を介して接続することにより、ホール素子16の駆動電流端子a、b間に印加されている駆動電圧を駆動電流Iに正帰還させるようにしている。

【0087】つまり、前述した第1実施形態の駆動回路では、演算増幅器2の出力電圧Voを、電圧という形で帰還させていたのに対し、本第2実施形態の駆動回路では、演算増幅器2の出力電圧Voを、電流という形で帰還させるようにしている。より具体的に説明すると、まず、温度が上昇すると、ホール素子16の内部抵抗値Rdが大きくなり、それに伴い、演算増幅器の出力電圧Voが基準電圧Vaに対して正方向に大きくなる。

【0088】そして、反転増幅器3は、演算増幅器2の出力電圧Voを、基準電圧Vaを基準として反転増幅し出力するため、温度上昇に伴い、演算増幅器の出力電圧Voが大きくなると、反転増幅器3の出力電圧は、基準電圧Vaを基準にして見ると、演算増幅器2の出力電圧Voとは反対の負方向へ大きくなる。

【0089】すると、演算増幅器2の反転入力端子の電圧が、帰還用抵抗R2によって、基準電圧Vaよりも低くなろうとするため、それを防ごうと、演算増幅器2の出力電圧Voが更に大きくなり、この結果、ホール素子16に供給される駆動電流Iが大きくなるのである。

【0090】そして、この第2実施形態の駆動回路によっても、帰還用抵抗R2の抵抗値と反転増幅器3の増幅率-Aとを、ホール素子16の感度定数Khの温度係数や内部抵抗値Rdの温度係数に応じて設定することにより、温度によるホール素子16の内部抵抗値Rdの変化、即ちホール素子16自身の温度変化を駆動電流Iに適切に反映させて、ホール素子16の温度による感度の変動を正確に補償することができる。そして更に、帰還用抵抗R2の抵抗値と反転増幅器3の増幅率-Aを、永久磁石14a、14bの磁束密度の温度係数も加味して設定することにより、スロットル開度センサ10の出力信号VOUTを温度に影響されないものとしてでき、温度によらずスロットル開度を高精度に検出可能なセンサを得ることができる。

【0091】そこで次に、本第2実施形態の駆動回路において、帰還用抵抗R2の抵抗値と反転増幅器3の増幅率等の回路定数を、どの様に設定するかについて具体的に説明する。尚、以下に説明する各式においても、

「R」は、抵抗Rの抵抗値を示している。また同様に、「R2」は、帰還用抵抗R2の抵抗値を示している。

【0092】本第2実施形態の駆動回路では、第1実施形態における式4が、下記の式9のように変形される。つまり、ホール素子16に流れる駆動電流Iは、式9のようになる。尚、式9における「Rd」は、式4、式6～式8の場合と同様に、ある基準温度でのホール素子16の内部抵抗値であり、このことは、後述する式15～式17においても同様である。また、Krは、ホール素

子16の内部抵抗値の温度係数であり、 $t$ は、温度である。  
\*【0093】  
\*【数9】

$$I = \frac{1}{R \left( 1 - \frac{R_d (1 + K_r \cdot t)}{R_2} A \right)} V_a \quad \text{...式9}$$

【0094】ここで、この式9に至る理由について説明する。まず、簡略化のため、前述した図3(a)のモデル、即ち、図2と同等のモデルであって、演算増幅器2の非反転入力端子を接地電位としたモデルで考えることにする。

【0095】この図3(a)のモデルにおいて、図3(d)に示すように、駆動電流 $I$ が流れる方向を演算増幅器2の出力端子から抵抗 $R$ へ方向とし、また、基準電圧 $V_a$ 側から抵抗 $R$ に流れる電流を「 $i_1$ 」、反転増幅器3側から帰還用抵抗 $R_2$ へ流れる電流を「 $i_2$ 」とすると、式10が成立する。尚、 $-A$ は、反転増幅器3の増幅率である。

【0096】

【数10】

$$\left. \begin{aligned} i_1 &= V_a / R \\ i_2 &= -A \cdot V_o / R_2 \\ I &= V_o / R_d \end{aligned} \right\} \quad \text{...式10}$$

【0097】そして、この場合、 $i_1 + i_2 + I = 0$ であるから、式11が成立する。

【0098】

【数11】

$$\frac{V_a}{R} - \frac{A \cdot V_o}{R_2} + \frac{V_o}{R_d} = 0 \quad \text{...式11}$$

【0099】この式11を変形すると、式12のようになる。

【0100】

【数12】

$$\frac{V_o}{R_d} \left( 1 - \frac{R_d \cdot A}{R_2} \right) = - \frac{V_a}{R} \quad \text{...式12}$$

【0101】そして更に、式12を変形すると、式13のようになる。

$$V_{h0} = V_a - K_{h0}$$

$$\times \frac{(1 - K_t \cdot t)}{\left( R - R_d \frac{R}{R_2} A \right) - R_d \frac{R}{R_2} K_r \cdot t \cdot A} \quad \text{...式15}$$

【0108】そして、この式15における分数の部分が温度 $t$ によらず一定となれば、 $V_{h0}$ 、即ちホール素子16の感度は、温度によらず一定となり、これを満たすための条件（温度補償の条件）は、式16のようにな

※【0102】

【数13】

$$\frac{V_o}{R_d} = \frac{V_a}{R \left( \frac{R_d}{R_2} A - 1 \right)} \quad \text{...式13}$$

【0103】この式13における「 $V_o / R_d$ 」は、ホール素子16の駆動電流 $I$ である。そこで、図3(a)、(d)のモデルにおいて、演算増幅器2の非反転入力端子の電圧を基準電圧 $V_a$ に戻し、図2及び図3(b)、(c)のモデルで考えると、式13における「 $V_a$ 」を「 $-V_a$ 」に置き換えれば良く、この置換により、駆動電流 $I$ は、下記の式14で表される。

20 【0104】

【数14】

$$I = \frac{V_a}{R \left( 1 - \frac{R_d}{R_2} A \right)} \quad \text{...式14}$$

【0105】そして、この式14において、前述した式3から式4への展開と同様に、「 $R_d$ 」を「 $R_d (1 + K_r \cdot t)$ 」に置き換えれば、上記式9となる。ここで、式14の分母における「 $(R_d / R_2) \cdot A$ 」であって、式9の分母における「 $(R_d (1 + K_r \cdot t) / R_2) \cdot A$ 」は、当該駆動回路のループゲインである。そして、このループゲインが1未満であれば、当該駆動回路は発散せずに安定であり、この値を適切に設定すれば、感度の温度補償ができる。

【0106】そこで、式5に式9を代入すると、式15のようになる。

【0107】

【数15】

る。

【0109】

【数16】

$$K_t = \frac{\frac{R_d}{R_2} \cdot K_r \cdot A}{1 - \frac{R_d}{R_2} \cdot A} = \frac{R_d \cdot K_r \cdot A}{R_2 - R_d \cdot A} \quad \cdots \text{式16}$$

【0110】また、式16を変形すると式17が得られる。

【0111】

【数17】

$$\frac{K_t}{K_t + K_r} = \frac{R_d \cdot A}{R_2} < 1 \quad \cdots \text{式17}$$

【0112】よって、式16及び式17を満足するように、帰還用抵抗 $R_2$ の抵抗値と反転増幅器3の増幅率 $-A$ とを設定すれば、ホール素子16の感度を温度によらず一定にすることができる。例えば、第1実施形態の駆動回路について説明した例と同様に、ホール素子16の内部抵抗値の温度係数 $K_r$ が $+2300 \text{ ppm}/^\circ\text{C}$ であり、感度の温度係数 $K_t$ の絶対値が $550 \text{ ppm}/^\circ\text{C}$ であるとする、式17において、「 $K_t / (K_t + K_r)$ 」が0.19となるため、「 $(R_d \cdot A) / R_2$ 」が0.19となるように、帰還用抵抗 $R_2$ の抵抗値と反転増幅器3の増幅率 $-A$ を設定すれば良い。

【0113】また、スロットル開度センサ10に使用する永久磁石14a、14bの温度特性をも含めて補償する場合には、永久磁石14a、14bの磁束密度の温度係数の絶対値を、式16、17における $K_t$ に加算して、回路定数を設定すれば良い。具体的に説明すると、永久磁石14a、14bの温度係数が、 $-300 \text{ ppm}/^\circ\text{C}$ であるとする、 $K_t = 550 + 300 = 850 \text{ ppm}/^\circ\text{C}$ となり、式17における「 $K_t / (K_t + K_r)$ 」が0.27となるため、「 $(R_d \cdot A) / R_2$ 」が0.27となるように、帰還用抵抗 $R_2$ の抵抗値と反転増幅器3の増幅率 $-A$ を設定すれば、スロットル開度センサ10の出力信号 $V_{OUT}$ を、温度に影響されないものとすることができる。

【0114】以上のように本第2実施形態の駆動回路においても、ホール素子16の内部抵抗値が温度によって変化することを利用し、その内部抵抗値の変化を駆動電流に正の特性で反映させることにより、駆動電流に正の温度特性を持たせて、ホール素子16の温度による検出感度の変動を補償するようにしている。

【0115】よって、本第2実施形態の駆動回路によっても、第1実施形態の駆動回路と同じ効果が得られる。また、本第2実施形態の駆動回路を備えたスロットル開度センサ10によれば、帰還用抵抗 $R_2$ の抵抗値と反転増幅器3の増幅率 $-A$ を、上記具体例の如く永久磁石14a、14bの磁束密度の温度係数も加味して設定することにより、当該センサ10から外部への出力信号 $V_{OUT}$ を温度に全く影響されないものとすることができる。そして、こうした温度補償を、簡単な回路構成で行うことができるため、当該スロットル開度センサ10の

小型化及び低コスト化を達成することができる。

【0116】また特に、本第2実施形態の駆動回路では、第1実施形態の駆動回路よりも、加算器4を設ける必要が無い分、回路規模をより小さくすることができる。以上、本発明の一実施形態について説明したが、本発明は、上記実施形態に限定されるものではなく、種々の形態を採り得ることは言うまでもない。

【0117】例えば、図1に示した第1実施形態の駆動回路において、演算増幅器2の非反転入力端子に印加する電圧（請求項2の第1の電圧）は、接地電位に限るものではなく、それ以外の電圧でも良い。また、図2に示した第2実施形態の駆動回路において、抵抗 $R$ の演算増幅器2側とは反対の端部に印加する電圧（請求項3の第2の電圧）は、接地電位に限るものではなく、例えば負の電圧でも良い。但し、その電圧を図2の如く接地電位にすれば、駆動回路を単電源で動作させることができ有利である。

【0118】一方、前述した各実施形態の駆動回路は、ホール素子に対して駆動電流を供給するものであったが、上記各実施形態の駆動回路は、ホール素子以外の物理量検出素子に対しても、全く同様に適用することができる。

【図面の簡単な説明】

【図1】 第1実施形態のホール素子の駆動回路の構成を示す回路図である。

【図2】 第2実施形態のホール素子の駆動回路の構成を示す回路図である。

【図3】 図2の駆動回路の構成に至る過程を説明する説明図である。

【図4】 スロットル開度センサの構成を示す構成図である。

【図5】 図4のスロットル開度センサにおけるホール素子の出力特性を示すグラフである。

【図6】 従来のホール素子の駆動回路の構成を示す回路図である。

【図7】 ホール素子の感度及び内部抵抗値に関する温度特性を示すグラフである。

【図8】 ホール素子駆動回路の図6以外の構成例を示す回路図である。

【符号の説明】

2…演算増幅器 3…反転増幅器 4…加算器

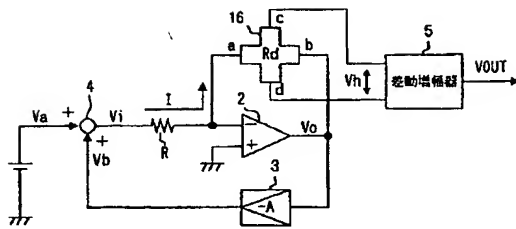
$R$ …抵抗

$R_2$ …帰還用抵抗 10…スロットル開度センサ

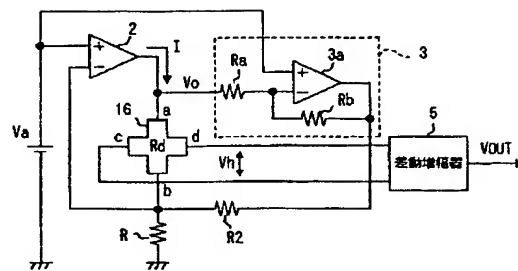
12…シャフト

14a、14b…永久磁石 16…ホール素子

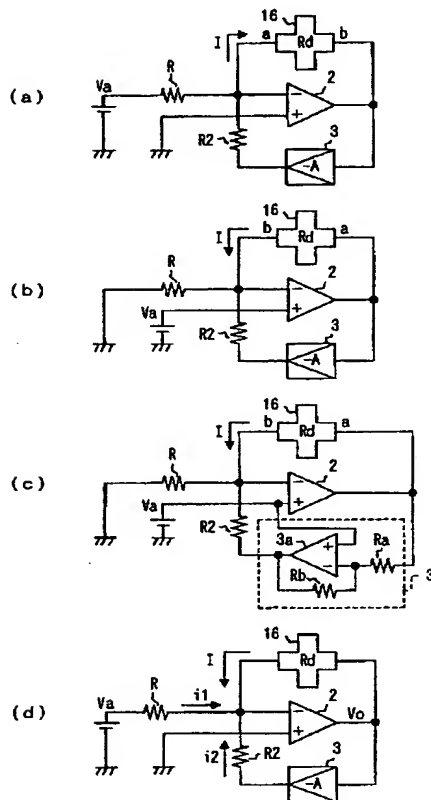
【図1】



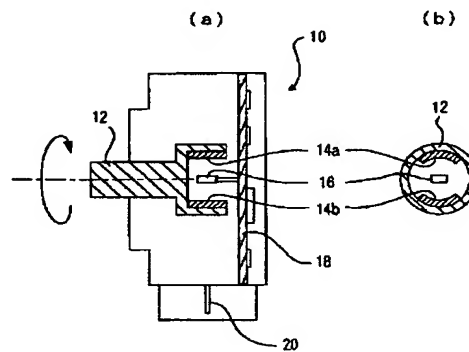
【図2】



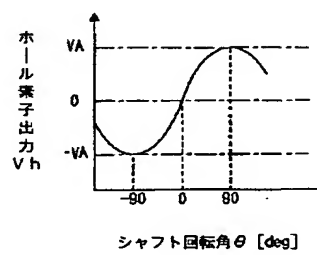
【図3】



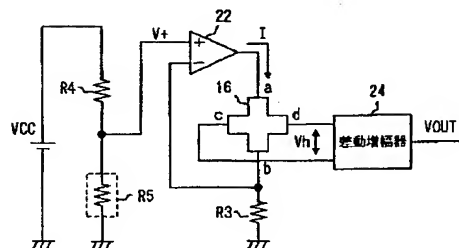
【図4】



【図5】

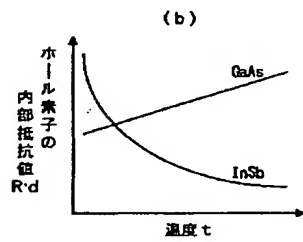
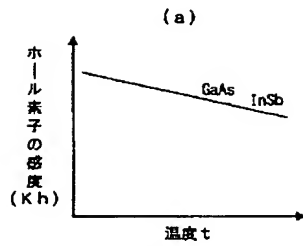


【図6】

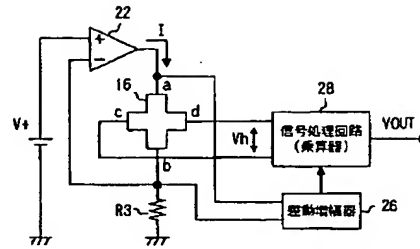




【図7】



【図8】



フロントページの続き

(72)発明者 菊地 哲郎  
愛知県西尾市下羽角町岩谷14番地 株式会  
社日本自動車部品総合研究所内

(72)発明者 樽井 淳  
愛知県刈谷市昭和町1丁目1番地 株式会  
社デンソー内

F ターム(参考) 2F063 AA35 BA06 BA30 CA34 CB01  
CB08 CC10 DA01 DA05 DB01  
DB07 DC02 EA03 GA52 GA55  
GA61 LA11 LA22 LA23  
2F077 AA13 AA49 JJ08 JJ23 NN04  
TT06 TT82 TT87